Physical AI — 素晴らしい未来への道。



レプリカントプラクティス

レプリカントの真実 - フィジカルAIの新聞

スモレンスク （ロシア）
予報 · 2026-11-03 · MSK

朝 · 09:00	2.1°	曇り 風: 北 1.81 m/s · 38%
昼 · 12:00	3.2°	雨 風: 北 1.46 m/s · 33%
夕方 · 18:00	3.3°	曇り 風: 西 1.9 m/s · 0%

一日: 1.8–4.1 °C
降水確率: 38%

雨の降るあいだ、私たちにできるのは、人間であることを学ぶことだけ。

号 № 6 · 2026-11-03 rev. 1 ·

天気の出典: Open-Meteo · 取得日時: 2026-11-03 07:25 MSK

ロボットの実用化：試験、安全、導入

五つの研究を通じ、つかむ動作の試験からソフトウェア命令の許可まで、導入時の課題を考えます。

ニュース

実機約1700回の試験が示す、ロボット導入前の評価の重要性

通信ケーブルの小さな先を差しこみ口に入れるとき、向きが少しずれるだけで入りません。ロボットの五本指の手にも、これはむずかしい作業です。アマー・アッバスさんたちの研究チームは、手を動かすプログラムを比べました。実物のロボットを使い、およそ1700回の試験をしました。画面の中だけの実験ではありません。

研究者は七つの種類に分けた281通りのプログラムを調べました。カメラの情報をどう使うか、指の動きをどんな数字で表すかを変えました。同じ作業でも、情報のまとめ方によって結果が変わります。たとえば、物の位置を手から見た数字で表すのか、別の場所を基準にするのかで、プログラムの使いやすさがちがいます。

実際に差しこむ前に計算できる67種類の点数も調べました。そのうち、動きのなめらかさやまっすぐさに関係する五つだけが、実物での成功と強く結びつきました。それも一つの種類のプログラムの中だけでした。コンピューターでよい点が出ても、実際の指が正しい場所に入るとはかぎらないのです。

点群を使う方式では、必要な領域だけを切り出すこと、ロボットの土台を基準に座標を表すこと、特徴量を正規化することが、それぞれ特定の比較で70から100ポイントの成功率改善につながりました。画像と指示から動作を出す方式では、相対移動より絶対位置を予測することで最大70ポイント改善しました。これらは条件の異なる試験結果なので、数値を足し合わせたり全方式へ一般化したりできません。七種類の制御方針を比べた点も重要です。

この研究で試したのは、決まった手と小さな差しこみ部品です。どんな物でも同じ方法が一番よいと決まったわけではありません。研究者は、画面での評価だけにたよらず、実物を使った試験が必要だと考えています。

組立工程への導入を考える企業にとって、実際の部品で受入試験を行う必要性が分かります。プログラムの内部評価が高くても、現物の差しこみ口を外すことがあります。発注条件には部品の形状、許容誤差、試行回数、一回の作業時間、照明条件を明記すべきです。この研究には、別のコネクターでも成功するという保証や、導入費用の一般的な見積もりはありません。

実機を動かさずに計算できる67種類の指標のうち、成功と安定して相関したのは五つだけで、しかも一つの方式の中に限られました。予測した動きのなめらかさや直線性が有用でも、異なるモデルを同じ点数で選べるとは限りません。検証用データの損失だけで実機性能を決めるのは危険です。

実機を動かさずに計算する67種類の指標のうち、成功と結びついたのは五つだけで、しかも一つの方式の中に限られました。単一の評価点で現場試験を省く判断は、この研究からは支持されません。

出典

From Teleoperation to Long-Horizon Dexterity: Evaluating Visuomotor Skills and Offline Proxies for Dexterous Manipulation · 2026-10-29

小型モデルが道具を呼び出してロボットを動かすCaPtain

工場のロボットは、危険な動作を制限できるソフトウェアの命令を通して動くことがあります。イージャ・ファン氏らが提案したCaPtainでは、小型の画像・言語モデルが、そのような道具を選んで呼び出します。モデルの周囲には、カメラ情報の処理、位置の計算、許可された移動を管理するプログラムがあります。関節の動きをすべて直接出す方式とは異なり、利用できる操作を決める場所が明確です。

研究者はまず道具を呼び出すお手本で学習させ、次に複数回の命令を通じて成功を増やす追加学習を行いました。学習中だけ、シミュレーターの内部情報を使う評価器で各命令の役割を調べます。実行時のモデルにはその特別な情報を与えません。LIBEROの未使用課題では、学習前0%、最初の学習後55.4%、次の学習後73.8%と報告されました。

導入する企業にとっては、細かな作業手順を一つずつ手作業で書く負担を減らせる可能性があります。ただし、使用できる命令の一覧、実行記録、認識をまちがえた場合の試験は必要です。別のLIBERO-PROでは78.5%、対象環境で追加学習しないSimplerEnv WidowXでは83.3%と報告しています。これらは異なる試験であり、生産ラインの処理能力を保証する数字ではありません。

論文では実機への移行と、コード、データ、モデルの重みの公開も報告しています。しかし、産業安全規格への適合や導入費用を独立に評価したものではありません。試験導入では作業の成功率に加え、カメラがまちがった情報を出したとき、どの命令まで機械へ送れるかを確かめる必要があります。

出典

CaPtain: A Pipeline for Post-Training Code-as-Policy Robot Agents · 2026-10-29

人を追う能力の改善が、かえって衝突を増やす場合

人が多い通路で、一人の人についていくロボットを考えてみましょう。似た服の人が前を通ったら、だれを追えばよいか分からなくなるかもしれません。ミンヤン・リューさんたちの研究チームは、人を見失わないようにする学習と、安全な動きがいつも同じ方向に進むのかを調べました。

人を追い続けるように学習すると、追いかける作業は上手になりました。しかし、一部の試験では、ぶつかる回数も増えてしまいました。そこで研究者は、動く直前に危険を調べるしくみを加えました。目当ての人がどこにいるか、ほかの人とまちがえていないかなど、いくつもの手がかりを調べます。

危険が大きいと判断したときだけ、次に前へ進む長さを短くします。向きを変える命令はそのままです。試験では、98%をこえる動きが元のままでした。それでも、まぎらわしい人がいる試験で、ぶつかる割合は3.96ポイント下がりました。いつでもゆっくり動かすだけでは、同じ改善は出ませんでした。

研究チームは、画像と言葉から動作を作る小型モデルの計画部分だけを追加学習し、基礎部分を固定しました。別の危険評価器には、目標候補、人物の見分けやすさ、距離と方向の推定、予定する命令など84種類の手がかりを入れます。危険がしきい値をこえると、次の目標位置までの前進距離だけを短くし、回転は変えません。常に減速させるのではなく、危険が高い瞬間に限って介入する設計です。

これは、どんな駅や店でも安全に人を追えると証明したわけではありません。研究で決めた場面と条件での結果です。だれかを見つけるのが上手になることと、ぶつからずに動くことは、別々に確かめる必要があります。

施設で使う場合、この危険確認は人を追う機能とは別に評価する必要があります。ロボットが人を見まちがえていないかを調べ、危険が高いときだけ前進距離を短くします。普段の動きをほとんど変えない点は利点ですが、速度制限、非常停止、建物ごとの試験を省けるわけではありません。研究論文は産業安全規格への適合を独立に証明していません。

同時に行った再試験でも衝突率は3.77ポイント下がり、対照の差は0.29ポイントでした。ただし、あらゆる環境で衝突しないという保証ではありません。目標人物の状態を考えずに一律に遅くするだけでは同じ効果が出なかった点が、単純な速度制限との違いです。

常にゆっくり動かす方法では同じ効果が出ず、再試験でも3.77ポイントの衝突率低下が見られました。ただし、来訪者に対する危険がゼロになるという数字ではありません。

出典

TRACE: Target-State Risk-Aligned Conditional Execution for Embodied Tracking · 2026-10-30

つかむ場所を学ぶ技術、工場導入では指先の調整が課題

コップを持つときは、指を曲げるだけでは足りません。ふれる場所が悪いと、コップがすべってしまいます。ジーシュエン・シューさんたちの研究チームは、物のどこに指がふれたかに注目しました。指先の近くにある小さなカメラの映像などを使い、人の手の動きをロボットに教える方法を考えました。

人の手とロボットの手は、指の長さも曲がり方もちがいます。だから、人の指の角度だけをそのままねしても、同じ物を持てるとはかぎりません。研究者は、まず人の指が物にふれた場所を記録しました。次に、ロボット自身の指と手首をどう動かせば、似た場所にふれられるかを計算しました。

六つの手と作業の組み合わせで、ほかの方法と比べました。研究チームによると、作業の最後の段階での平均の成功率は、少なくとも50ポイント高くなりました。たとえば20%から70%になると、50ポイントの増加です。ここでの数字は、研究で決めた作業の結果であり、どんな物でも持てるという意味ではありません。

この方法は、人の実演を記録する部分とロボットが学ぶ部分を分けています。前者では共通の接触形状と指先のカラー画像を使い、手の姿勢を移す前に接触面を合わせます。後者では接触面の相対的な軌道を上位で予測し、下位の制御部分が手首と指を動かします。ソフトウェアと機器の設計情報も公開されています。人の指の角度をそのまま再現

するのではなく、物との接触関係を保存する考え方です。

まだ、いろいろな形の道具や、ぬれた物を持つ場合まで確かめたわけではありません。それでも、指がどこにふれるかを考えることは、見た目が同じ動きでも成功が変わる理由を知る手がかりになります。

導入時にはロボットの手の形だけでなく、指先のカメラ、位置合わせ、製品の表面を調べる必要があります。接触面とは、指が実際に物を支えている部分です。その位置が少し変わると、持ち上げた物がすべる可能性があります。公開された機器の設計図とコードは試験導入の助けになりますが、実際の生産ラインとの接続や保守の費用は別に発生します。

50ポイント以上という数字は、六つの手と作業で測った最終段階の平均成功率です。作業全体や異なる材質でも同じ効果が出るとは限りません。初期の接近動作、指先カメラの校正、接触のずれは別々に調べる必要があります。

50ポイントという改善は、選んだ作業の最後の段階で測った数字です。ラインの稼働時間、指の摩耗、作業全体の速さ、製品を落としたときの損失まで示したものではありません。

出典

Contact Imitation Interface: Transferring Dexterous Skills by Showing How Contact Unfolds · 2026-10-29

異なる機体で道案内を共有し、導入時の学習負担を減らせるか

小さな車輪のロボットと、大きくて曲がり方がちがうロボットを、同じせまい通路で走らせるとします。「右に曲がる」という命令だけでは、二台が同じように進むとはかぎりません。ジードン・ワンさんたちの研究チームは、形や動き方がちがうロボットに、一つの道案内のしくみを使えないか考えました。

研究者は、動いた後に周りの景色がどう変わるかを予想するモデルを使いました。これを世界モデルと呼びます。でも、景色の予想だけでは十分ではありません。それぞれのロボットが、どれくらい曲がれるか、どう進むかという情報も組み合わせました。道が空いていても、ロボットがそこへ曲がれなければ通れないからです。

コンピューターの試験では、五つの動き方に分かれる七台のロボットを使いました。新しい方法は、比べた一部の方法より、成功する割合が3.8から10.6ポイント高くなりました。さらに研究者は、実物のロボットを三分間だけ人が動かして、その動き方を調べました。その後、初めての室内で道を進めるか試しました。

共通部分をつなぐのは、機体が動くことで生じるカメラ視点の変化です。世界モデルは異なる機体のデータから学び、それぞれの機体には物理パラメーターを調べた簡略な運動モデルを用意します。経路を予測するとき、命令をまず機体の運動モデルに通し、その結果を世界モデルへ渡します。これにより、曲がり方や加速の違いを考えながら、一つの制御方針を使えます。機体ごとに別々の方針を一から学ぶ必要を減らす設計です。

ただし、階段やどんな乗り物にも使えると分かったわけではありません。研究は主に平らな地面での移動を考えています。ロボットの体のちがいを無視せず、同じ道案内のしくみを分け合えるかが研究の中心です。

異なる種類のロボットを使う企業には、機体ごとに全体を学習し直さなくてよい可能性があります。ただし各機体の動き方は調べる必要があります。研究では新しい実機を三分間だけ手動で走らせて特性を調べました。これは実験でのパラメーター確認の時間であり、地図、通信、充電、安全設備を含めた設置が三分で終わるという意味ではありません。

実機では三分間の手動走行で機体の特徴を調べ、初めての室内で移動を試しました。ただし平らな地面という前提があり、階段や急な斜面での利用は確認されていません。数値上の改善は仮想環境での比較であり、実機試験とは分けて評価する必要があります。

研究は主に平らな地面を想定しています。坂道、エレベーター、人の多い通路を使う現場では、発表された成功率とは別の検証が必要です。

出典

Cross-Embodiment Motion Planning by Coupling Body-Agnostic World Model with Differentiable Ego-Dynamics · 2026-10-30

分析

実機での受入試験は欠かせない

研究室の高い成功率だけでは、部品や動作制限、認識の失敗を確認できません。

導入費用、試験条件、失敗時の影響を別々に評価する必要があります。

出典

From Teleoperation to Long-Horizon Dexterity: Evaluating Visuomotor Skills and Offline Proxies for Dexterous Manipulation · 2026-10-29

Contact Imitation Interface: Transferring Dexterous Skills by Showing How Contact Unfolds · 2026-10-29

TRACE: Target-State Risk-Aligned Conditional Execution for Embodied Tracking · 2026-10-30

Cross-Embodiment Motion Planning by Coupling Body-Agnostic World Model with Differentiable Ego-Dynamics · 2026-10-30

CaPtain: A Pipeline for Post-Training Code-as-Policy Robot Agents · 2026-10-29

本号の用語集

この号のキーワードを解説します。

01 **CaPtain**
ソフトウェアの道具を呼び出してロボットを操作するエージェント。

02 **LIBEROとLIBERO-PRO**
ロボットの物体操作の成功率を調べる二つの試験課題集。

03 **周辺プログラム**
学習済みモデルの外側で道具や制約を管理するソフト。

04 **強化学習**
行動の結果の評価を使って、次の判断を改善する学習。

05 **データ表現**
観測や命令をどのような形式で表すかという方法。

06 **RJ45コネクター**
実機の差しこみ試験で使われた通信ケーブルの接続部品。

07 **接触面**
指が物に力を伝える部分。

08 **Contact Imitation Interface**
接触形状を使って手の技能を移す方法。

09 **TRACE**
人を追う動作の危険を評価するフィルター。

10 **Hourglass**
機体ごとの運動モデルを組み合わせる共通ナビゲーション。

11 **世界モデル**
行動の後の周囲の変化を予測するモデル。

12 **SimplerEnv WidowX**
対象環境で追加学習せずに移行を調べる別のロボットアーム試験環境。

出典

From Teleoperation to Long-Horizon Dexterity: Evaluating Visuomotor Skills and Offline Proxies for Dexterous Manipulation · 2026-10-29

Contact Imitation Interface: Transferring Dexterous Skills by Showing How Contact Unfolds · 2026-10-29

TRACE: Target-State Risk-Aligned Conditional Execution for Embodied Tracking · 2026-10-30

Cross-Embodiment Motion Planning by Coupling Body-Agnostic World Model with Differentiable Ego-Dynamics · 2026-10-30

CaPtain: A Pipeline for Post-Training Code-as-Policy Robot Agents · 2026-10-29